Aus dem physiologischen Institut zu Rostock.

Einige Versuche

über die

Rhythmicität des Herzmuskels.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

in der

Medicin, Chirurgie und Geburtshülfe

der

hohen medicinischen Facultät der Universität Rostock

vorgelegt von

Karl Hagen,
approb. Arzt.

Naumburg a. S.,
Lippert & Co. (G. Pätz'sche Buchdr.)
1896.

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

Seinem lieben Vater

in Dankbarkeit gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553622_0236

Die vorliegende Arbeit besteht in Mitteilung einiger Versuchsreihen, die ich an dem ganglienfreien Herzmuskel des Frosches angestellt habe.

Der seit Bidder's und Volkmann's bedeutenden Untersuchungen aufgestellte Grundsatz, dass der Ort der Automatie und Rhythmicität des Herzens allein in den Ganglien zu suchen sei, ist durch den besonders durch die Ludwigsche Schule gelieferten Beweis der Fähigkeit des ganglienlosen Herzmuskels, seinerseits selbst rhythmisch zu pulsieren, ins Schwanken geraten. Mit dem Nachweis des rhythmischen Vermögens ist nun aber keineswegs die Notwendigkeit gegeben, auch den Sitz der automatischen Thätigkeit des Herzens in den Muskel zu verlegen; vielmehr sprechen zahlreiche, in neuerer Zeit oft discutierte Thatsachen dafür, dass man diese viel bedeutsamere Eigenschaft auf die Wirkung von Ganglienzellen beziehen müsse. Die Frage kann nur sein, ob diese dem Muskel rhythmische Einzelimpulse zusenden, oder ob ein von ihnen ausgehender Dauerreiz den Muskel in rhythmische Zusammenziehung versetzt. Im ersten Falle würde der Herzmuskel von der oben erwähnten Thätigkeit zur Rhythmik keinen Gebrauch zu machen haben und diese vielleicht nur als ein entwicklungsgeschichtliches Residuum anzusehen sein, als eine Erinnerung gewissermassen des Herzmuskels an eine frühe Embryonalzeit und an die Stufe der physiologischen Leistungsfähigkeit, auf der er sich bei manchen wirbellosen Tieren (Schnecken) befindet.

Meine in nachfolgender Abhandlung beschriebenen

Versuche sollen sich mit der Lösung dieser wichtigen, aber schwierigen Frage nicht beschäftigen; sie sind vielmehr nur zu dem Zwecke angestellt worden, die jetzt zwar von den meisten Autoren anerkannte, von manchen aber doch wieder bestrittene Thatsache, dass der ganglienfreie Herzmuskel fähig sei, auf Dauerreize in rhythmische Thätigkeit zu geraten, völlig sicher zu stellen. Meine Ausführungen werden sich insbesondere gegen die Arbeiten Kaisers[1]) richten müssen, der die erwähnte Eigenschaft des Herzmuskels durchaus bestreitet und die bisherige Deutung der vorliegenden Thatsachen für irrtümlich hält.

Die Versuche sind teils an der nach dem Bernsteinschen Verfahren abgeklemmten, teils mit der völlig abgetrennten Herzspitze des Frosches angestellt worden. Zur Abklemmung benutzte ich eine Klemmpincette mit schmalen Branchen. Die meisten Versuche wurden graphisch aufgezeichnet. Die grösste Zahl derselben wurde von mir während des Winters angestellt. Es standen mir daher nur Frösche, die lange in Gefangenschaft gehalten waren, zur Verfügung. Die meisten Experimente stellte ich an curarisierten Tieren an, da mir aus den Versuchen früherer Autoren bekannt war, dass das Herz unvergifteter Tiere sich in keiner Weise anders verhält. Subcutan injizierte ich von dem Gift zwei Dezigramm einer etwa einpromilligen Lösung. Nach wenigen Minuten trat eine völlige Lähmung der Skeletmuskulatur ein, ohne irgend merkbare Beein-

---

[1]) K. Kaiser, Untersuchungen über die Ursache der Rhythmicität der Herzbewegungen. Habilitationsschrift. München 1893.

Derselbe, Untersuchungen etc. II. Zeitschr. f. Biologie. Bd. XXX (N. F. Bd. XII) 1894.

Derselbe, Untersuchungen etc. III. Zeitschr. f. Biologie. Bd. XXXII (N. F. Bd. XIV).

Derselbe, Über die Ursachen der durch den constanten Strom an der Froschherzspitze ausgelösten rhythmischen Contractionen. Zeitschr. f. Biologie. 1895.

flussung der Herzthätigkeit. Nach der verschiedenartigen Beschaffenheit der Mittel, die ich zur Reizung des ganglienlosen Herzmuskels in Anwendung brachte, lassen sich die in vorliegender Arbeit mitgeteilten Versuche in drei Gruppen sondern. Die erste Abteilung ist der chemischen Reizung gewidmet. Im zweiten Teil mache ich Mitteilung von der Wirkung zweier organischer Gifte, mit deren Hülfe manche Eigenschaften des ganglienfreien Herzmuskels mehr erkennbar werden. Die dritte Abteilung beschäftigt sich in eingehender Weise mit der galvanischen Reizung des ganglienlosen Herzmuskels. Hier bin ich durch genaue Messung der autographisch gewonnen Kurven zu entscheidenden Resultaten gekommen. In einem Anhang endlich erwähne ich einige Versuche, die darin bestanden, den galvanischen Strom in die Herzspitze einzuschleichen; in dem letzten dieser Versuche, in dem die wichtige Frage zu entscheiden war, wie steil eine Stromesschwankung sein muss, um den Herzmuskel zu erregen, gelang es mir mit Hülfe eines eigens zu diesem Zwecke konstruierten Apparates ziemlich genaue Zahlenwerte zu finden.

I.

Die chemische Reizung der Herzspitze.

Nachdem schon früher verschiedene Autoren den Einfluss galvanischer, chemischer und mechanischer Dauerreize auf den ganglienlosen Herzmuskel klar gelegt hatten, hat zuerst Langendorff[1]) in einer vor zwölf Jahren erschienenen Arbeit in systematischer Weise äussere chemische Reizmittel bezüglich ihrer Wirkung auf den Herzmuskel geprüft. Er fand, dass, wenn man auf die nach dem Bernsteinschen Verfahren abgeklemmte Spitze eines zur Immobilisierung am besten mit Curare vergifteten Frosches gewisse Salze, Säuren, Alkalien u. s. w. bringt, rhythmische, oft lange Zeit hindurch anhaltende Pulsationen hervorgebracht werden. Um diesen Einfluss äusserer chemischer Reize auf die abgeklemmte Herzspitze zu demonstrieren, ist am besten die Anwendung kleiner Kochsalzkriställchen geeignet. Langendorff schloss aus seinen Beobachtungen, dass auch die chemische Reizung des Herzmuskels die Behauptung rechtfertige, dass das ganglienfreie Herz durch Dauerreize zur rhythmischen Thätigkeit veranlasst werde.

Zu einer diesen Folgerungen widersprechenden Anschauung gelangt Kaiser[2]) in der zweiten seiner oben citierten Arbeiten. Danach handelte es sich bei den durch

[1]) O. Langendorff, Studien über Rhythmik und Automatie des Froschherzens. Archiv f. Physiologie 1884. Supplementband.

[2]) K. Kaiser, Untersuchungen etc. II (siehe oben).

Auflegen eines Kochsalzkristalls erzeugten Kontraktionen überhaupt nicht um wahre Pulse, vielmehr wäre der Herzmuskel durch das Salz in eine Art von Dauerkontraktion versetzt, und nur die dehnenden Wirkungen der periodischen Füllungen der Herzspitze vom Herzrest her erzeugten den Anschein der Pulsationen. Die Unhaltbarkeit dieser Auffassung hat Langendorff[1]) in einer Reihe neuer Versuche dargethan, durch die er besonders bewies, dass es sich in der That um echte, aktive Pulse handelt, und dass die Periode, in welcher der Herzrest pulsiert, im Gegensatz zu dem, was die Kaisersche Auffassung verlangen würde, eine bestimmte Beziehung zu der Zahl der Spitzenpulse nicht erkennen lässt. In seiner dritten Mitteilung ist Kaiser[2]) von seinem früheren Standpunkte wesentlich zurückgekommen. Jetzt zweifelt er nicht mehr daran, dass man es mit wahren Pulsen zu thun hat, kann sich aber doch nicht dazu entschliessen, die Beweiskraft der Langendorffschen Versuche anzuerkennen. Seiner jetzigen Meinung nach ist Kochsalz für den nervenfreien Muskel überhaupt kein Reiz. Vielmehr wird, wie er nachzuweisen glaubt, durch Applikation einer gesättigten Kochsalzlösung auf die Herzspitze lediglich die Erregbarkeit des Herzmuskels gesteigert. Die Erregbarkeit wächst so hoch an, dass Reize, die vorher nicht imstande gewesen sind, den Herzmuskel zu erregen, ihn nunmehr zur Pulsation bringen. Die Reize sollen gegeben sein in den sich wiederholenden Füllungen der Herzspitze vom übrigen Herzen her. Wie wenig diese neue Auffassung den Thatsachen gerecht wird, hat Langendorff[3]) in einer späteren Arbeit gezeigt.

Mir stellte Herr Professor Langendorff die Aufgabe, noch einmal genauere Versuche über die Wirkung

---

[1]) O. Langendorff, Zur Lehre von der Rhythmik des Herzmuskels. Archiv für die gesamte Physiologie. Bd. 57 S. 409.

[2]) K. Kaiser, Untersuchungen etc. III (siehe oben).

[3]) O. Langendorff, Die Reaction des Herzmuskels auf Dauerreize. Arch. f. die gesamte Physiologie. Bd. 61 S. 333.

der chemischen Mittel auf die Herzspitze anzustellen. Es sollte vor allen Dingen zahlengemäss ausgedrückt werden, wie wenig der Rhythmus der durch Kochsalz zu erzielenden Spitzenpulse mit der Zahl der Zusammenziehungen des Herzrestes in Übereinstimmung steht. Im übrigen möchte ich bemerken, dass diese erste Versuchsreihe wesentlich dazu dienen sollte, mich über die bei Untersuchung der Herzspitze in Frage kommenden Eigenschaften des Herzmuskels zu orientieren, dass aber meine hauptsächlichste Aufgabe weniger die Untersuchung der chemischen Reizung als die des Einflusses der galvanischen Durchströmung sein sollte. Von diesem wird in einem späteren Abschnitte die Rede sein.

Ich wandte das Chlornatrium in Form eines kleinen, leicht angefeuchteten Kristalls an. Als Versuchsobjekt diente mir rana esculenta. Der Frosch wurde curarisiert, sein Herz nach Fortnahme der Brusthaut durch Entfernung eines Teiles des Sternums freigelegt, vom Perikard befreit, und durch die erwähnte Klemmpincette die unteren beiden Drittel des Ventrikels abgeklemmt. Die Herzspitze stand meist in Diastole still. Nur einmal musste die Abklemmung wiederholt werden. In vorsichtiger Weise wurde darauf ein kleiner Kochsalzkristall auf die Herzspitze gebracht. In allen Versuchen traten nach wenigen Sekunden zahlreiche Spitzenpulsationen auf. Ich beobachtete einmal 37 Kontraktionen. Gleichzeitiges Zählen der Ventrikelrestpulsationen und der Spitzenkontraktionen nach der Uhr ergab, dass niemals ein festes Verhältnis zwischen der Zahl der Kammerrestpulse und derjenigen der Spitzenpulsationen bestand. Genauere Resultate lieferte noch die graphische Aufzeichnung. Dazu verwendete ich einen Zughebel. Ein kleiner, aus einer feinsten Insektennadel gebogener Haken wurde in schonendster Weise, unter Vermeidung jeglicher Blutung in der äussersten Spitze des Herzmuskels befestigt. Ein feiner Faden, der am Häkchen festgeknüpft war, lief in schräger Richtung über eine leicht bewegliche, kleine

Rolle und zog an einem einarmigen, aus Schilf verfertigten Hebel, dessen Spitze aus Aluminium bestand. Der Frosch lag auf einem leicht verstellbaren Holztisch. Der Schreibhebel zeichnete auf der Trommel eines Baltzarschen Kymographions. . Die auf diese Weise entstandenen Kurven zeigten auf das deutlichste, dass der Rhythmus der Spitzenpulse niemals in zwangsmässiger Abhängigkeit steht von dem Rhythmus des Ventrikelrestes. Niemals bestand eine Harmonie zwischen beiden Pulsrhythmen. Ich gebe hier ein Versuchsbeispiel: Die Zahl der Ventrikelrestpulse waren bei wiederholten Zählungen gleich 16 in 30 Sekunden; in drei aufeinanderfolgenden Zählungen der Spitzenpulse ergaben sich für je 30 Sekunden: 6, 9, 7. Ähnliche Ergebnisse lieferten die übrigen Zählungsversuche. Man muss daher die Spitzenpulse als rhythmische Kontraktionen von durchaus selbständiger Natur auffassen und kann sie nicht, wie Kaiser will, entstanden denken als Wirkungen der Kontraktionen des Ventrikelrestes.

Weiterhin nahm ich nun noch Veranlassung, die frühere Kaisersche Behauptung, dass die konzentrierte Kochsalzlösung die Herzspitze in Dauerkontraktion versetze, auf ihre Richtigkeit hin zu prüfen. Ich kam zu folgendem Ergebnis: Niemals habe ich beobachtet, dass die abgeklemmte Herzspitze nach vorsichtiger Applikation eines Kochsalzkristalls sich kontrahierte und dann passiv durch Füllung von Kammerresten her gedehnt wurde. Nachdem das Salz auf die Herzspitze gebracht war, blieb dieselbe zunächst unverändert diastolisch gefüllt; dann, nach wenigen Sekunden, führte sie eine Reihe von lebhaften Pulsationen aus, entweder spontan oder nach Anwendung eines einzelnen mechanischen Reizes. Nach Aufhören der Pulse zeigte die Spitze wieder dasselbe Aussehen wie gleich nach der Abklemmung und vor der Anwendung des chemischen Reizes. Durch Fortnahme des Kristalls und Überspülen mit 0,6 prozentiger Kochsalzlösung entfernte ich dann das Reizmittel und konnte so beliebig oft

neue Reizungen mit demselben oder anderen Mitteln vornehmen.

II.

Die toxische Reizung der Herzspitze.

Die Wirkung gewisser organischer Gifte auf den Herzmuskel ist der chemischen Reizung ganz ähnlich. Von solchen Giften habe ich zwei in Beziehung auf ihre erregenden Eigenschaften genauer geprüft: Atropin und das zur Digitalisgruppe gehörende Helleboreïn.

In seiner schon wiederholt genannten, vor zwölf Jahren erschienenen Arbeit hatte Langendorff[1]) bei Prüfung der verschiedensten chemischen Stoffe bezüglich ihrer erregenden Wirkung auch Versuche mit Atropin angestellt.

Es zeigte sich, dass dieser Körper an der nach Bernstein abgeklemmten Herzspitze allerdings nur in einem Falle Pulsationen hervorrief, dass aber die Herzspitze der atropinisierten Frösche nach dem Abschneiden in den meisten Versuchen noch eine Reihe von 7 bis 8 Pulsen machte, ehe sie dauernd stillstand. Daraus hatte Langendorff gefolgert, dass Atropin jedenfalls mindestens fähig sei, die Erregbarkeit des Herzmuskels zu steigern. In einer späteren Abhandlung[2]) beweist er, dass häufig das Atropin den Herzmuskel sogar zu erregen imstande ist. Es gelang ihm, nach Atropinvergiftung auch an der abgeklemmten Herzspitze lebhafte, langandauernde Pulsationen oder, wie er sie zu nennen vorschlägt, „pseudoautomatische Pulse" auftreten zu sehen. Langendorff betont dabei, dass diese spontanen Pulse nur auftreten bei Benutzung kräftiger Frösche, die erst kurze Zeit in Gefangenschaft waren. Benutzt man hingegen nur Winterfrösche, so findet man in den Resultaten

[1]) O. Langendorff, Archiv f. Physiologie. Jahrg. 1884. Supplementband. Veit & Cp.

[2]) O. Langendorff, Herzmuskel und Atropin. Archiv f. Anatomie und Physiologie. Physiolog. Abteilung. 1885. S. 267.

nur eine Bestätigung der Erregbarkeitserhöhung; es gelingt dann erst nach Anwendung eines mechanischen Reizes Pulsserien zu erzielen, aber nicht selbständiges Pulsieren hervorzurufen.

Ich stellte meine Experimente folgendermassen an: Ich benutzte ausschliesslich Rana exculenta. Leider standen mir nur Winterfrösche zur Verfügung. Die Herzspitze wurde am curarisierten Frosche abgeklemmt.

Atropinum sulfuricum wurde in einer Dosis von 0,0005 in die Oberschenkelmuskulatur injiziert. Durch einmalige mechanische Reizung der Spitze war ich dann imstande, zahlreiche, lebhafte Pulsationen hervorzurufen. In einem Versuche zählte ich 15, in einem zweiten 13 Kontraktionen der Herzspitze in nicht ganz regelmässiger Aufeinanderfolge. Es bestand auch keine Harmonie zwischen der Zahl dieser Pulsationen und derjenigen der Ventrikelrestkontraktionen, wie aus der nachfolgenden Zählungsreihe hervorgeht:

Ventrikelrestpulse sind bei wiederholten Zählungen gleich 20 in 30"; in vier aufeinanderfolgenden Zählungen an Spitzenpulsen ergaben sich für je 30"; 11, 17, 19, 20. Spontane Pulsreihen wurden nicht beobachtet. —

Äussert empfindlich zeigte sich der ganglienlose Herzmuskel gegenüber dem Helleboreïn, einem Alkaloïd aus der Digitalisgruppe. Schmiedeberg hat in sehr geistreicher Weise die Wirkung dieser Stoffe dahin zu deuten gesucht, dass dieselben die Elastizität des Herzmuskels beeinflussen. Er vermutet, dass durch Grösserwerden der Elastizität des Muskels der Übergang in die Diastole immer mehr erschwert werde, bis schliesslich das Herz in systolischem Zustande stehen bleibe. So ansprechend, wie diese Theorie erscheint, muss man doch zugestehen, dass Helleboreïn in kleiner, richtig gewählter Dosis auch fähig ist, den Herzmuskel zu erregen und in aktive Pulsationen zu versetzen. Meine darüber gesammelten Erfahrungen sind folgende: Nach Injektion einer grossen Dosis, nämlich von 0,4 gr. einer 0,75 prozentigen wässrigen Helleboreïnlösung (von Merck) in die Muskulatur des Oberschenkels

verlangsamten sich die Kontraktionen des Ventrikelrestes zusehends und wurden allmählich von immer grösserer Dauer. Die abgeklemmte Herzspitze, die anfangs diastolisch stillstand, nahm nach und nach ein ungleichförmiges, maulbeerartiges Aussehen an und reagierte auf einmalige mechanische Reizung immer nur mit einer Kontraktion. Schliesslich, 15 Minuten nach der Injektion, stand das Herz systolisch kontrahiert still.

Erfolgreicher dagegen war die Wirkung bei Anwendung kleinerer Dosen. Zu meinen beiden Versuchen benutzte ich Eskulenten. Der Frosch wurde auf einer Korkplatte gefesselt, sein Herz freigelegt, und die Abklemmung der Spitze in der gewöhnlichen Weise vorgenommen. Die Herzspitze blieb diastolisch gefüllt stehen.

Nun wurde 0,1 gr einer $^3/_4$ prozentigen Helleboreïnlösung in die Oberschenkelmuskulatur injiziert. Da nach Verlauf von vierzig Minuten noch keine Wirkung zu bemerken war, wurde auf den Ventrikelrest und auf die Spitze je ein Tropfen der Helleboreïnlösung gebracht. Nach Verlauf von weiteren fünf Minuten traten 20, langsam verlaufende spontane Spitzenpulse auf, von denen ungefähr drei in der Minute erfolgten.

Zur Ausführung eines anderen Versuches wurde der Frosch curarisiert, sein Herz freigelegt und dessen Spitze abgeklemmt. Dieselbe stand in Diastole still. Nach fünf Minuten wurde $^1/_{10}$ gr einer $^3/_4$ prozentigen Helleboreïnlösung in die Oberschenkelmuskulatur injiziert. Etwa zehn Minuten darauf erfolgten nach einmaliger mechanischer Reizung einige vereinzelte Spitzenkontraktionen. In beiden Versuchen erlosch die Erregbarkeit des Herzmuskels rasch. Sehr bald zeigte die Spitze das charakteristische, maulbeerartige Aussehen. Sowohl die Ventrikelrestpulse als auch die Spitzenpulse nahmen bald an Zahl ab, bis schliesslich das ganze Herz systolisch kontrahiert blieb.

In den vorangehend mitgeteilten Versuchen ist nachgewiesen worden, dass es zuweilen gelingt, durch Anwendung der erwähnten Gifte die Herzspitze zur an-

scheinend selbstthätigen Arbeit zu veranlassen. Mehr als meine Versuche beweisen dieses die früheren Experimente von Langendorff und anderen Autoren. Besonders die Versuche des ersteren, die mir zur Verfügung standen, ergeben, dass es durchaus nicht notwendig ist, in diesen Fällen die durch die Herzrestpulsationen gegebene mechanische Reizung der Spitze als Ursache ihrer Zusammenziehungen anzusehen.

Freilich kommen Fälle vor, wo sich lediglich eine Erregbarkeitssteigerung der Spitze nachweisen lässt. In solchen treten dann zuweilen anscheinend spontane Pulse auf, die aber doch deshalb als hervorgerufene aufgefasst werden müssen, weil ihr Rhythmus in der That sich als abhängig vom Rhythmus des Herzrestes erweist. Unter solchen Beobachtungen lassen sich aber zweifellos auch solche anführen, in denen eine solche Abhängigkeit nicht besteht. Endlich kommen Fälle vor, — und solche sind in meinen Versuchen die Regel gewesen — in denen nach der Applikation des Giftes spontane Pulse gar nicht auftreten, wohl aber die Erregbarkeit des Muskels so hoch gesteigert ist, dass ein mechanischer Einzelreiz von kurzer Dauer nicht eine einzelne Pulsation, sondern eine ganze Pulsserie erzeugt.

Nähmen wir mit Kaiser an, dass die rhythmischen Pulsationen, die auf mechanische Reizung eintreten, ebenfalls nur durch eine Erregbarkeitssteigerung des Muskels bedingt seien, so müssten wir hier gewissermassen eine Superposition von zwei verschiedenen Erregbarkeitssteigerungen annehmen, von denen jede einzelne für sich allein nicht genügt, dem Muskel denjenigen Grad von Beweglichkeit zu geben, der ihn befähigt, auf jede Füllungsvermehrung mit einer Kontraktion zu antworten, sondern die beide zusammen erst dieses Ergebnis herbeiführen. Mir scheint eine derartige Annahme durchaus gezwungen zu sein. Weit einfacher ist die, dass der mechanische, langsam abklingende Einzelreiz, wenn er auch für gewöhnlich an einem unvergifteten Muskel nicht mehr als

eine einzelne Kontraktion hervorruft, an dem durch Vergiftung erregbarer gewordenen seine Wirksamkeit durch längere Zeit hindurch ausdehnt, und wie alle übrigen Dauerreize während der Zeit seiner Wirksamkeit rhythmische Pulsationen herbeiführt. Das vergiftete Herz würde sich demgemäss in demselben Zustande befinden wie das erwärmte, von dem Langendorff[1]) schon früher gezeigt hat, dass auch hier mechanische Einzelreize oft von Pulsserien gefolgt sind. Bei dem erwärmten Herzen zeigt sich gerade so wie bei dem atropinisierten, dass auch die abgeschnittene Spitze mehrere Pulsationen ausführen kann, bevor sie gänzlich zur Ruhe kommt. Offenbar wirkt hier das Anschneiden als mechanischer Reiz, der nicht momentan verschwindet, sondern eine gewisse Zeit seine Wirkung ausübt, bis er abgeklungen ist.

Die vorerwähnten toxischen Versuche also würden, insoweit bei ihnen nicht unabhängige rhythmische Pulsationen zur Beobachtung kamen, zwar nichts für die rhythmische Wirkung toxischer Reize beweisen, wohl aber die Ansicht stützen, dass mechanische Dauerreize den Herzmuskel zu rhythmischer Thätigkeit veranlassen könnnen.

III.

Die galvanische Reizung der Herzspitze.

Die Frage, ob der ganglienfreie Herzmuskel in der That die Fähigkeit besitzt, auf Dauerreize rhythmisch zu pulsieren, wird bei Anwendung galvanischer Durchströmung endgiltig entschieden. Gegen die Verwertung der galvanischen Reizung richten sich in erster Linie die Einwürfe Kaisers.

Kaiser[2]) meint, „das auch diese rhythmischen Be-

[1]) O. Langendorff, Studien über Rhythmik und Automatie des Froschherzens. Archiv f. Physiologie. Jahrg. 1884. Supplementband Seite 33.

[2]) K. Kaiser, Untersuchungen etc. II. (siehe a. a. O.) Seite 284.

wegungen der Herzspitze dadurch zustande kommen, dass der kontinuierliche Reiz durch die Veränderungen, welche er am Herzen hervorruft, unterbrochen wird. Nur haben wir es in diesem Falle nicht mit im Innern des Herzens verlaufenden Vorgängen zu thun, sondern die Unterbrechungen geschehen auf rein äusserlichem, künstlichem Wege, unter Bedingungen, die mit der natürlichen Rhythmicität der Herzbewegung nichts zu thun haben". Mit solchen „auf rein äusserlichem, künstlichem Wege entstehenden Unterbrechungen" können nur die durch die Formveränderungen des Herzens hervorgerufenen Schwankungen in der Dichtigkeit des Stroms oder die Verschiebungen der Elektroden gemeint sein, wie es Langendorff [1]) in seiner Abhandlung „Die Reaktion des Herzmuskels auf Dauerreize" ausgesprochen hat.

Durch eine Reihe neuer Untersuchungen schien es möglich, die Frage zur Entscheidung zu bringen. Ich lasse aus meinen Protokollen zunächst einen Versuch folgen:

12. Versuch.

Eine mittelgrosse rana esculenta wird curarisiert, das Herz freigelegt, vom Perikard befreit, die unteren beiden Drittel werden abgeklemmt. Die Zuleitung des galvanischen Stroms geschieht vermittelst unpolarisierbarer Pinselelektroden, die mit zwei Tauchelementen in Verbindung stehen. Im Nebenkreis befinden sich ein Rheochord von Du Bois-Reymond, eine Pohl'sche Wippe und ein Quecksilberschlüssel.

Beispiele:

I. Rheochordschieber: 359 mm: eine Spitzenkontraktion, nach längerer Pause eine zweite.

II. Rheochordschieber 400 mm: zwei Spitzenkontraktionen, dann erst eine bei der 57. Ventrikelrestpulsation.

III. Ein Stöpsel entfernt, Rheochordschieber: 600 mm:

[1]) O. Langendorff, Die Reaktion des Herzmuskels auf Dauerreize. Archiv f. die gesamte Physiologie Bd. 61, 1895, Seite 337.

zwei Spitzenkontraktionen, dann je eine bei der 3., 4., 6., 9., 12., 20., 24., 26., 30., 35., 39., 42., 45., 49., 53., 61., 65., 69., 84., 89., 92., 95., 103., 110., 115., 118., 121., 125., 130., 134., 139., 141., 145., 159., 163., 168., 171., 175., 180., 185., 189., 195. Ventrikelrestpulsation.

IV. Rheochordschieber: 600 mm; eine Spitzenkontraktion, nach langer Pause eine zweite, dann je eine bei der 10., 16., 41., 47., 53., 58., 64., 82., 131., 136., 145., 186., 209. Ventrikelrestpulsation.

Jeder vorurteilslose Beobachter wird sagen müssen, dass das Resultat dieses Versuchs sich in keiner Weise mit der Kaiserschen Anschauung in Einklang bringen lässt. Was bei meinem Versuch sogleich in die Augen fällt, ist die lange Dauer der Pulsationsintervalle bei Reizung mit sehr schwachen galvanischen Strömen und die grosse Unregelmässigkeit der Intervalle bei Anwendung stärkerer Ströme.

Nach Kaiser sollen nun rein äusserliche Stromunterbrechungen die Spitzenpulse hervorrufen. Bei jeder Systole des Herzrestes verkleinert sich das Volumen des ganzen Herzens und ist damit vielleicht Gelegenheit gegeben, dass die Pinselelektroden, die vorher der Herzspitze in breiter Ausdehnung anlagen, später nur mit der Spitze den Herzmuskel berühren und der durchfliessende galvanische Strom dann in grösserer Dichte den Muskel durchströmt. Solche Stromesschwankungen müssten aber bei jeder Systole in gleicher Weise eintreten und, wenn dieselben genügten, um Pulsationen der Herzspitze zu veranlassen, so müssten diese Pulse in regelmässigem Rhythmus erfolgen, da eine jede Kontraktion der Herzspitze die Ursache der nächstfolgenden sein würde.

Dass überhaupt die Widerstandsschwankungen, die der Kreis durch die Formveränderungen des Herzens erfährt, nicht ausreichen, Spitzenpulse auszulösen, hat Fonrobert[1])

[1]) A. Fonrobert, Über die electrische Reizung des Herzens. Inaugural-Dissertation. Rostock 1895.

in seiner Inauguraldissertation bewiesen. Er schaltete in den die Herzspitze enthaltenden Kreis so grosse Widerstände ein, dass ihnen gegenüber alle Widerstandsschwankungen, die der Kreis durch die Formveränderungen des Herzens erfahren könnte, so winzig klein werden mussten, dass sie eine merkliche Wirkung nicht entfalten konnten.

Meinen oben erwähnten Versuch habe ich in ähnlicher Weise noch öfter wiederholt, stets mit demselben Erfolg.

Um die Verschiebung der Herzspitze an den Elektroden möglichst zu vermeiden, verwandte ich für diejenige Elektrode, welche auf die Herspitze gelagert wurde, bald einen feinen aus dem Thon hervorragenden Seidenpapierstreifen, der gut angefeuchtet wurde, bald einen dünnen Faden aus Baumwolle; der letztere eignete sich besser zur Verwendung, da die Kochsalzlösung, mit welcher der Papierstreifen durchfeuchtet wurde, sehr schnell verdunstete und so ein häufiges Wiederanfeuchten und damit Störungen des Versuchs notwendig wurden.

Die folgenden Versuche wurden sämtlich graphisch aufgezeichnet. Es folge hier das Protokoll eines derselben.

Die gut abgeklemmte Herzspitze des curarisierten Frosches (rana esculenta) wurde mit dem Schreibeapparat einer Kymographiontrommel verbunden. Als Anode kam eine breite Pinselelektrode auf die Kehlhaut, die Kathode lag an der Herzspitze und bestand in einem baumwollenen Faden, der 12 mm aus dem Thon hervorragte.

Vier Tauchelemente, Rheochord, Wippe und Quecksilberschlüssel bildeten ferner den Reizapparat. Es waren drei Stöpsel des Rheochords entfernt. Die auf diese Weise gezeichnete Tafel zeigt einige gute Pulsserien, die alle ein gemeinsames Merkmal ihres Verlaufes erkennen lassen. Nach Schluss der Kette treten zunächst zirka 20 Spitzenpulse auf, die durch mehr oder weniger grosse Pausen unterbrochen sind. Die in der Zeichnung erscheinenden Erhebungen der einzelnen Pulse sind von durchaus unregelmässiger Form; bald fällt ein Puls des Herzrestes in den

aufsteigenden Teil, bald in den Gipfel, bald in den absteigenden Teil. In dem weiteren Verlauf einer solchen Pulsserie werden die Pausen in unregelmässig zunehmender Weise grösser. Es vergehen vier oder fünf Sekunden, ehe eine neue Spitzenkontraktion erfolgt. In einem Falle beträgt die Pause zwischen der vorletzten und letzten Kontraktion vor der Öffnung des Stroms 17 Sekunden. Es ist ganz unmöglich, hiernach die Kaisersche Auffassung verstehen zu können. Wie sollte die Wirkung eines durch Elektrodenverschiebung veranlassten äusseren Reizes 5, ja selbst 17 Sekunden latent bleiben, ehe sie zum Vorschein tritt?

Noch auf andere Weise glaube ich die Folgen einer Verschiebung der Herzspitze gegenüber der angelegten Elektrode sowie überhaupt die der Dimensionsänderung der sich kontrahierenden Spitze ausschliessen zu können, nämlich durch starke Abkühlung des Versuchsfrosches. Infolge sehr niedriger Temperatur werden die Kontraktionen äusserst träge und langsam und ihre Frequenz erheblich verringert. Dadurch müssen etwaige Schwankungen der Stromesdichte notwendigerweise sehr unbedeutend werden. Dieselben werden so langsam verlaufen müssen, dass die später zu erwähnende Eigenschaft des ganglienlosen Herzmuskels, grade für langsam verlaufende Stromesschwankungen besonders empfänglich zu sein, nicht mehr in Frage kommt.

Ich verfuhr auf folgende Weise: Der zu benutzende Frosch wird während 24 Stunden curarisiert im Eisschrank gehalten. Während des Versuchs wird derselbe auf einem Messingkasten gelagert, der andauernd von Eiswasser durchströmt ist; das Herz ist von einem Hohlring aus Metall umgeben, durch den gleichfalls Eiswasser fliesst. Die abgeklemmte Spitze wird dann in gewohnter Weise mit dem Schreibapparat verbunden. Der Erfolg war stets derselbe wie in den früheren Versuchen: Im Anfang völlig unregelmässige Intervalle zwischen den einzelnen Spitzenkontraktionen, später gegen Ende der Durchströmung

immer grössere Pausen. Derartige Pulsserien liessen sich aufzeichnen bei einer Stromstärke von acht Tauchelementen, während der Rheochordschieber auf 170 stand.

Von grosser Bedeutung für die Begründung meiner Ansicht war nun weiter, durch Messung die Grösse der Latenzzeit zu bestimmen.

Falls Kaiser recht hat, dass die bei jeder Kontraktion des Herzrestes entstehende Stromesschwankung eine neue Pulsation der Herzspitze auflöse, dann muss man unbedingt erwarten, dass alle Pausen zwischen den späteren Kontraktionen von derselben Dauer sind wie die Latenzzeit. Die Anordnung meines Versuchs war folgende:

Der Frosch (rana esculenta) ist curarisiert, und hat 24 Stunden hindurch auf Eis gelegen. Nachdem sein Herz freigelegt und abgeklemmt ist, wird er auf einem durchkühlten Messingkasten gelagert. Es wird die Herzspitze durch Einhakung mit der Schreibvorrichtung verbunden. Der Reizapparat besteht aus acht Tauchelementen, Rheochord (im Nebenkreis), Wippe, elektromagnetischem Markierapparat und Aubertschem Schlüssel. Auf der berussten Kymographiontrommel schreiben die drei Schreibhebel des Reizmarkierers, des Sekundenmarkierers und derjenige, welcher die Kontraktionen des Herzens vermerkt, genau übereinander. Die so gewonnenen Kurven ergeben, dass die Pausen zwischen den einzelnen Spitzenpulsen nicht nur bedeutend länger und von weit grösserer Dauer sind als die Latenzzeit, sondern dass sie auch unter einander erhebliche Differenzen zeigen.

Beispiel: Abgekühlter Frosch, Herzspitze abgeklemmt. Rheochordschieber: 300 mm: Latenzzeit = ca. 1″; Dauer einer Kontraktion = etwa 3,5″, 1. Pause = 17,5″, 2. Pause = 18,75″, 3. Pause = 14,5″, 4. Pause = 8,75″.

Gegen diese Versuche liesse sich vom Standpunkte Kaisers aus folgender Einwand erheben. Man könnte sagen: zwar nicht die systolischen Veränderungen der Herzspitze seien es, die Stromesschwankungen und damit neue Pulse hervorriefen, wohl aber summierten sich die

wiederholten Füllungsveränderungen und die dadurch herbeigeführten Variationen der Stromesdichte derartig, dass sie an der durch die galvanische Durchströmung erregbarer gewordenen Herzspitze immer nach einer gewissen Zeit Anlass zu einer neuen Pulsation gäben. Um diesen Einwurf abzuschneiden, stellte ich auch einige Versuche mit der völlig abgetrennten Herzspitze an, bei der von solchen Schwankungen des Volums keine Rede sein kann, da ja die Füllung vom Herzreste her vollkommen fortfällt. Die Anordnung dieser Versuche war ähnlich wie bei dem zuletzt beschriebenen. Der Frosch — rana temporaria — wird durch Ausbohrung des Rückenmarks getötet. Das Herz wird freigelegt, vom Perikard befreit, die unteren Drittel werden durch sorgfältigen Schnitt aus ihrem Zusammenhang mit dem übrigen Herzen getrennt.

Die Herzspitze wird auf einem Deckgläschen gelagert. Dieses letztere befindet sich auf einer kleinen, metallenen Kapsel, die mit zwei Abzugsröhren versehen ist, sodass eine Durchspülung mit Eiswasser ermöglicht wird. Der Strom wird mit Hülfe zweier unpolarisierbarer Pinselelektroden zugeleitet. Auf der Spitze ruht ein schreibender Fühlhebel. Auf diese Weise gelingt es, ausreichend genaue Messungen der Latenzzeiten, der Pausen und der einzelnen Kontraktionen anzustellen. Aus meinem reichhaltigen Material lasse ich hier einige Messungen folgen:

Abgekühlter Frosch, abgeschnittene Herzspitze, Rheochordschieber: 400 mm: Tafel XXV Latenz = 0,125"; — die Latenzzeitbestimmungen sind nur ungefähre, da eine genaue Messung wegen des langsamen Ganges der Trommel hier nicht möglich war — durchschnittliche Dauer einer Kontraktion = 1,25". 1. Pause = 0,18; 2. Pause = 0,18; 3. Pause = 0,20; 4. Pause = 0,30; 5. Pause = 0,40; 6. Pause = 0,75; 7. Pause = 0,90. Da nach 4,5" keine weiteren Pulse erfolgten, Öffnung des Stroms. — Tafel XXVII. Latenz = 0,2"; durchschnittliche Dauer einer Kontraktion = 3,5". Pause zwischen 3. und 4. Kontraktion = 5,0".

Da nach der 4. Kontraktion 8,75" hierdurch keine weiteren Kontraktionen erfolgen, Öffnung des Stroms. Tafel XXIX: Latenz = 0,09"; durchschnittliche Dauer einer Kontraktion = 2,0"; 1. Pause = 8,8"; 2. Pause = 10,3". Da nach der 4. Kontration 2,4" hindurch keine Pulsationen erfolgen, Öffnung des Stroms.

Aus dem Resultate dieser Versuchsreihe geht hervor, dass die Pausen zwischen den einzelnen Kontraktionen der Herzspitze bedeutend länger sind als die Latenzzeit der betreffenden Pulsserie.

Hiermit schliesse ich den Hauptteil meiner Abhandlung und komme nun noch zur Beschreibung einiger Versuche, die ich angestellt habe, um einen Einblick zu gewinnen in das Verhalten der Herzmuskels gegenüber Stromesschwankungen von geringerer oder grösserer Steilheit. Kaiser [1]) hat ebenfalls Untersuchungen inbetreff dieser Frage angestellt und beschreibt eine derselben in folgender Weise: „Bei den folgenden Versuchen bediente ich mich einer 25 cm langen, 5 mm breiten und 5 mm tiefen Rinne aus Hartgummi, die mit $^1/_2$ prozentiger Kochsalzlösung gefüllt zur Aufnahme der Herzspitze war. Der Strom wurde durch zwei in die Rinne hineintauchende Platinelektroden zugeführt, von denen die eine an einem Ende der Kochsalzrinne fixiert war, während die andere in einer Führung gleitend, leicht hin und her bewegt werden konnte.

1. Versuch. Die Herzspitze einer grossen Esculenta wurde ausgeschnitten und 1—2 cm von der fixen Elektrode (F), entfernt in die mit $^1/_2$ proz. Kochsalzlösung gefüllte Rinne eingelegt. Befand sich die bewegliche Elektrode (B) in einem Abstand von 20 cm von der Elektrode F, so bewirkte Schliessung des Stroms nur eine einzelne Kontraktion der Herzspitze. Erfolgte der Stromschluss bei einem Abstand der beiden Elektroden von 7 cm, so

[1]) K. Kaiser, Über die Ursachen der durch den constanten Strom an der Froschherzspitze ausgelösten rhythmischen Contractionen. Zeitschr. f. Biologie 1895.

führte die Herzspitze eine kürzere oder längere Reihe von Kontraktionen aus. Wurde nun der Strom bei einem Elektrodenabstand von ca. 20 cm geschlossen, so konnte durch ausserordentlich langsames und gleichmässiges Vorschieben von B gegen F der Abstand auf 5,4 oder 3 cm verringert werden, ohne dass dadurch eine Kontraktion der Spitze ausgelöst wurde. Reizte ich jetzt die Herzspitze mechanisch mit dem Glasstabe, so hatte dies nicht eine einzelne, sondern eine ganze Reihe von Kontraktionen zur Folge".

Das Resultat Kaisers kann ich durch die von mir angestellten Untersuchungen bestätigen. Ich benutzte, um den galvanischen Strom in den Herzmuskel einzuschleichen, ein Rheonom, das ähnlich, aber viel einfacher konstruiert war, wie das von v. Fleischl. Die Konstruktion desselben war folgendermassen: In der Mitte einer aus hartem Buchenholz gefertigten, 25 cm im Durchmesser fassenden und 4 cm dicken, achteckigen Platte ist ein 20 cm langer, 10 mm dicker, runder Stahlstab vertikal befestigt. Auf der gut paraffinierten Platte befindet sich 3 cm von ihrem Rande konzentrisch zum Stahlstabe eine Rinne, die zum Versuche mit konzentrierter Zinksulfatlösung gefüllt wird. Diese Lösung steht mit zwei diametral an den Seiten der Platte befindlichen festen Polklemmen in leitender Verbindung. Auf der Stahlstange befindet sich, leicht drehbar, eine Hartgummihülse, an welcher an zwei einander gegenüberliegenden Punkten zwei von einander isolierte Zinkbügel angebracht sind. Die nach unten gerichteten und gut verquickten Bügelenden tauchen der Art in die mit Zinksulfatlösung gefüllte Rinne, dass sie bei der Drehung der Hartgummihülse nirgends die Wände der Rinne berühren. An je einem oberen, wie schon erwähnt, an der Hartgummihülse befestigten Bügelende ist je eine ebenfalls mit der Gummihülse drehbare Klemmschraube leitend verbunden. Als Versuchstier diente rana esculenta. Der Frosch wurde curarisiert, sein Herz freigelegt und gut abgeklemmt. Als Stromquelle benutzte

ich zwei Tauchelemente, welche mit den beiden festen Polklemmen des Rheonoms verbunden waren. Zwischen die beiden beweglichen Klemmen des Apparates und die unpolarisierbaren Pinselelektroden, welche an die Herzspitze angelegt waren, wurden eine Wippe und ein Quecksilberschlüssel eingeschaltet. Die Kathode lag an der Herzspitze; die Anode war auf die Kehlhaut appliziert. Es gelang zu wiederholten Malen, durch vorsichtige, langsame Drehung der in der Zinklösung sich bewegenden Bügelenden den Strom bis zum Maximum einzuschleichen. Wurde nun die Herzspitze einmal mechanisch gereizt, so traten mehrere Spitzenpulsationen auf. Bei Öffnung des Stroms zeigte sich keine Kontraktion, während nach wiederholter Schliessung andauernde Pulse auftraten.

Denselben Erfolg hatte ich bei Anwendung des langen Kompensators von Du Bois-Reymond. Die Versuchsanordnung war im übrigen dieselbe:

Versuchsobjekt: rana temporaria.

Herz freigelegt — abgeklemmt.

Der Strom lässt sich bis zum Maximalpunkt einschleichen. Keine Öffnungszuckung. Schliessung: 30 Pulsationen. Öffnung: Ruhe. Zurückschieben des Kompensatorschiebers auf 0. Einschleichen gelingt wieder. Auf einmalige mechanische Reizung: 12 Pulsationen. —

Dass durch langsames und gleichmässiges Anschwellen des Stromes das Einschleichen derselben in die Herzspitze gut gelingt, haben Kaisers und meine Experimente hinreichend bewiesen. Auffallend war freilich die von Kaiser hervorgehobene auch von mir bestätigte Thatsache, dass man die Schwankung äusserst langsam erfolgen lassen muss, um die Herzspitze in Ruhe verharren zu sehen, weit langsamer, als wie es bei der Reizung eines Nerven notwendig ist. Aber noch ein anderes, sehr wichtiges Ergebnis zeigen Kaisers und die von mir angestellen Versuche: Nachdem der galvanische Strom in die Herzspitze eingeschlichen ist, antwortet dieselbe auf eine einzelne mechanische Reizung mit einer grösseren Reihe von Pul-

sationen. Anstatt aber wie Kaiser aus dieser Beobachtung zu schliessen, dass lediglich die einfache Formveränderung des Herzens es sei, die hier die Pulsationsreihe anregt, möchte ich dieser Erscheinung eine andere Deutung geben. Ich möchte glauben; dass durch den ohne äussere Wirkung verlaufenden Kettenstrom der Herzmuskel in einen so labilen Zustand versetzt worden ist, dass die geringste Veranlassung imstande ist, die Wirkung des galvanischen Stroms zum Vorschein kommen zu lassen und den Muskel aus dem Zustand der Ruhe in den Zustand der Thätigkeit zu versetzen. In schöner Weise liesse sich dieser Vorgang mit jenen bekannten Erscheinungen einer übersättigten Salzlösung oder des unterkühlten Wassers vergleichen. Wie hier ein Kristall genügt, um die Lösung zum Kristallisieren zu bringen, oder eine geringe Erschütterung ausreicht, um das Wasser gefrieren zu lassen, so genügt für das galvanisch durchströmte Herz ein minimaler Reiz, um die pulserregende Wirkung des Stromes sofort in die Erscheinung treten zu lassen.

Von ausserordentlichem Interesse erschien mir ferner die Frage, wie steil eine Stromesschwankung sein muss, um die Herzspitze zu erregen. Kaiser, der ebenfalls die Erledigung dieser Frage für notwendig erachtet, lässt in seinen Versuchen eine Angabe genauer Zahlenwerte vermissen. Er spricht nur allgemein von „ausserordentlich langsamem und gleichmässigem Vorschieben“ der beweglichen Elektrode gegen die fixe.

Durch geeignete Verbindung des oben erwähnten Rheonoms mit einem Baltzarschen Kymographion war es mir möglich, ziemlich genau für eine gegebene Stromstärke die Grösse und Steilheit einer Stromesschwankung zu bestimmen, welche eben genügt, eine Herzspitze zur Kontraktion zu bringen. Meine Vorrichtung war folgende: Auf der die Registriertrommel tragenden Achse war, und zwar unterhalb der Trommel ein Querbalken aus Messing befestigt, welcher an seinen beiden Enden isolierte, vertikal nach unten verstellbare, gut verquickte Zinkstäbe

trug. An den oberen Enden dieser Zinkstäbe befanden sich Klemmschrauben zur Aufnahme von sehr dünnen, biegsamen Zuleitungsdrähten. Auf der gusseisernen Platte, in welcher sich das untere Ende der Trommelachse drehte, war konzentrisch zu jener Achse eine Hart-Gummischeibe angebracht. Diese Scheibe war mit einer Rinne versehen, in der sich die unteren Enden der genannten Zinkstäbe bewegten. Die Rinne war mit Zinksulfatlösung gefüllt und stand in leitender Verbindung mit seitlichen, festen Polklemmen. Ferner war auf der Hartgummischeibe eine Gradteilung angebracht und war es vermittelst eines Index, der an dem oben erwähnten Messingbalken befestigt war, möglich, den Drehungswinkel abzulesen. Die Stromquelle bestand in acht Tauchelementen, deren Pole mit den festen Polklemmen der Rheonomscheibe in Verbindung standen. Dazwischen eingeschaltet befanden sich eine Pohlsche Wippe und ein Quecksilberschlüssel. Die erwähnten, dünnen, biegsamen Leitungsdrähte führten zu unpolarisierbaren Pinselelektroden, zwischen denen die Herzspitze gelagert war. Da nun der ganze Umfang der Trommel 500 mm betrug und ich die jeweilige Drehungsgeschwindigkeit durch einen Sekundenmarkierer auf der berussten Trommel verzeichnet erhielt, so war ich imstande, mit Hülfe dieser beiden Faktoren die Winkelgeschwindigkeit des Rheonoms und damit die Steilheit der Stromschwankung genau abzulesen. In einem Versuch zeigte sich, dass, wenn die Trommel mit dem Rheonombügel sich um 1 cm in 11" drehte, eine Kontraktion der Herzspitze erfolgte, während bei einer Schnelligkeit von 1 cm in 15" noch keine Zuckung auftrat. Die Fortsetzung meines Versuches bestand darin, dass ich zugleich eine abgeschnittene Herzspitze und den Ischiadicus eines Froschschenkels zwischen die Elektroden brachte; es wurden dann mit der Hand die Zinkstäbe, welche sich in der Zinklösung bewegten, langsam um einen gewissen Winkel gedreht. Die Herzspitze kontrahierte sich, während das Nervmuskelpräparat unbeweglich blieb.

Kaiser[1]) kommt in seiner zweiten, im Anfang dieser Abhandlung mitgeteilten Arbeit zu demselben Resultat. Er schreibt dort:

„1) Die Erregbarkeit der ganglienfreien Herzspitze ist für plötzlich von Null auf ein bestimmtes Maximum ansteigende, also sehr steile Strommesschwankungen geringer als die des Nervmuskelpräparates.

2) Für sehr wenig steile, also langsam folgende Stromesschwankungen ist dagegen die Herzspitze wesentlich empfindlicher als das Nervmuskelpräparat.“ —

Nach dieser Erfahrung muss zugegeben werden, dass Kaiser recht hat, wenn er dem Eckhardschen Kontrollversuch eine nicht genügende Beweiskraft zuschreibt. Kaiser[2]) citiert denselben in seiner zweiten Arbeit; die Eckhardsche Beschreibung seines Versuches lautet: „Leitet man einen konstanten galvanischen Strom durch eine Herzspitze, so zeigt sich, dass, wenn die Stromdichte im Herzen so gross ist, dass beim Schluss der Kette eine Pulsation entsteht, von nun an das ganglienlose Stück rhythmisch in Pulsation verfällt. Die Anzahl der Pulsationen im geschlossenen Strom ist keine unbeschränkte, sondern je nach Massgabe der Stromdichte und des Ermüdungszustandes des Ventrikelteiles hören die Pulsationen nach einer gewissen Anzahl von Schlägen auf. Ich (Eckhard) habe jedoch nicht selten 22—30 gezählt. Ist das pulsierende Stück durch eine Anzahl von Schlägen im Kreis der Kette zur Ruhe gekommen, so genügt eine Berührung desselben mit der Nadelspitze, um wieder eine, wenn auch kleinere Reihe von Pulsationen auszulösen. Das Oeffnen der Kette löst nur eine einzige Pulsation aus. Für dieses vielleicht beim ersten Anblick nicht erwartete Verhalten ensteht nun aber die Frage: Ist dasselbe ein Herzmuskel eigentümliches Phänomen, und wie ist sich

[1]) K. Kaiser, Untersuchungen über die Ursache der Rhythmicität der Herzbewegungen. II. Zeitschr. f. Biologie Bd. XXX (N. F. Bd. XII) Seite 288.

[2]) idem Seite 284.

sein Zustandekommen zu denken, oder liegt in der mechanischen Anordnung des Experimentes ein dasselbe erklärender Umstand? Überlegen wir die letztere, so könnte folgendes möglich erscheinen. Das Auftreten der in Rede stehenden Bewegungen bedarf eines verhältnismässig nur schwachen Reizes. Wenn nun mit dem Schluss der Kette eine Pulsation ausgelöst wird, so, könnte man meinen, zieht sich anfangs der Ventrikel zusammen, löst also dadurch mehr oder weniger seine Verbindung mit den ihn berührenden Teilen des Kreises, so dass bei seinem Übergange in Diastole jene wieder inniger wird, somit eine positive Stromschwankung entsteht und damit eine neue Ursache des Beginnes einer neuen Pulsation gegeben ist. Man hat Mittel, sich von der Unrichtigkeit dieser Voraussetzung zu überzeugen. Man stellt eine vielelementige Kette (6—8) her, in deren Kreis an einer Stelle das Herz, und an einer andern der Nerv eines Muskels eingeschaltet ist, und wendet sie in der Art an, dass man mit einem Element beginnt und successive fortschreitet. Dann zeigt sich, dass der Muskel schon bei Stromesschwankungen zuckt, bei welchen das Herz noch ruhig bleibt, weil bei den elektrischen Reizungsphänomenen nicht die Schwankungen der Stromstärke, sondern der Stromdichte in Betracht kommen und in dem erwähnten Falle diese im Herzstück viel kleiner als im Nerv ausfällt. Hieraus ist zu schliessen, dass, solche Schwankungen im Kettenkreis, welche an dem Ventrikelstück eine Pulsation auslösen, notwendig auch den Muskel müssen zum Zucken bringen. Fängt aber nach geschlossener Kette das Herz an zu pulsieren, so bleibt nichts destoweniger der Muskel in Ruhe, und dies beweist, dass die einzelnen Pulsationen ihren Ursprung nicht dem oben erwähnten Umstand verdanken. Es ist also der auf gleicher Höhe verweilende Strom, welcher dem Ventrikel die in Rede stehende Eigenschaft erteilt".

Wie schon gesagt, ist nach dem Ergebnis der obigen Versuche die Anordnung dieses Kontrollexperimentes von

nicht genügender Beweiskraft; dennoch bleibt der Schluss, den Eckhard aus seinen Beobachtungen zieht, dass der ganglienfreie Herzmuskel fähig sei, auf galvanische Dauerreize rhythmisch zu pulsieren, von sicherem Bestand. Ich verweise in dieser Beziehung auf die Modifikation des Versuchs, die Fonrobert in seiner Abhandlung geschildert und durch die er dargethan hat, dass auch dann, wenn man die angeblichen, langsamen Dichtigkeitsschwankungen, die der Strom durch die Kontraktionen erleiden soll, in weit rapidere transformiert, das eingeschaltete Nervmuskelpräparat in Ruhe bleibt. Hier lässt sich der Einwand nicht machen, dass die Schwankung zu langsam gewesen sei, um den Nerv zu erregen, wohl aber rapid genug, um den Herzmuskel zu Kontraktionen zu veranlassen. Wie wenig in der That an solche Schwankungen zu denken sei, wird durch meine im Hauptteil dieser Arbeit mitgeteilten Versuche dargethan.

Meiner Meinung nach besteht die nun zunächst zu lösende, mit meinen Versuchsreihen aber nicht näher zusammenhängende Aufgabe darin, genau begrenzte Zahlenwerte für diejenige Geschwindigkeit der Stromesschwankung zu finden, welche nötig ist, um eine Herzspitze zu erregen. Mit Hülfe des von mir zuletzt beschriebenen Apparates wird es möglich sein, diese Aufgabe in leichter Weise zu erledigen. —

Zum Schlusse sei es mir noch gestattet, an dieser Stelle die angenehme Pflicht zu erfüllen, Herrn Professor Dr. Langendorff für die Anregung zu dieser Arbeit und für seine gütige Unterstützung bei Anfertigung derselben meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen.